

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-42090  
(P2001-42090A)

(43) 公開日 平成13年2月16日 (2001.2.16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコ-ト* (参考)
G 2 1 F 5/012		G 2 1 F 5/00	J
G 2 1 C 19/32		G 2 1 C 19/32	T
G 2 1 F 5/008		G 2 1 F 5/00	F

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平11-218186

(22) 出願日 平成11年7月30日 (1999.7.30)

(31) 優先権主張番号 特願平11-148377

(32) 優先日 平成11年5月27日 (1999.5.27)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 村上 和夫

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目1番1号  
三菱重工業株式会社神戸造船所内

(72) 発明者 斎田 富兼

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号  
三菱重工業株式会社高砂研究所内

(74) 代理人 100112737

弁理士 藤田 考晴 (外3名)

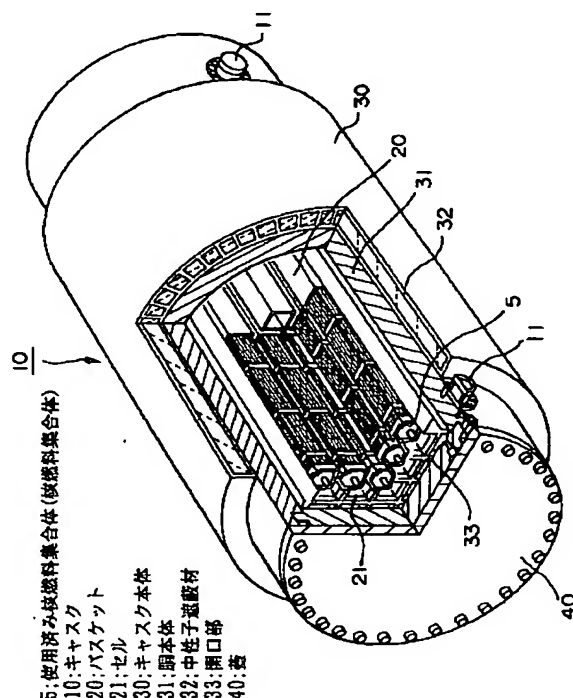
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 バスケット及びキャスク

(57) 【要約】

【課題】 構造部材として中性子吸収能に優れた材料を使用し低コストで製造できるバスケットを提供する。

【解決手段】 個々の使用済み核燃料集合体5をキャスク10内部の所定位置に収納するための格子状断面を有するバスケット20を、A1またはA1合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上7重量%以下添加後、加圧焼結してなる中性子吸収能を備えたアルミニウム基複合材料で製造した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 個々の使用済み核燃料集合体をキャスク内部の所定位置に収納するための格子状断面を有するバスケットであって、AlまたはAl合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上7重量%以下添加後、加圧焼結してなる中性子吸収能を備えたアルミニウム複合材で製造したことを特徴とするバスケット。

【請求項2】 前記格子状断面が、前記アルミニウム複合材の板材を格子状に結合してなることを特徴とする請求項1に記載のバスケット。

【請求項3】 前記格子状断面が、前記アルミニウム複合材を押出成形してなる管材を結束して形成したことを特徴とする請求項1に記載のバスケット。

【請求項4】 前記管材の結束がロウ付けによりなされることを特徴とする請求項3に記載のバスケット。

【請求項5】 個々の使用済み核燃料集合体をキャスク内部の所定位置に収納するための格子状断面を有し、AlまたはAl合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上5重量%以下添加後加圧焼結してなる中性子吸収能を備えたアルミニウム複合材で製造したバスケットと、耐圧を受け持つ胴本体とその外側を取り巻く中性子遮蔽部とを備え、前記バスケットを内部に収納する中空のキャスク本体と、前記使用済み核燃料集合体を前記バスケットに出入れするために設けられた前記キャスク本体の開口部に着脱可能な蓋とを具備して構成したことを特徴とするキャスク。

【請求項6】 前記格子状断面が、前記アルミニウム複合材の板材を格子状に結合してなることを特徴とする請求項5に記載のキャスク。

【請求項7】 前記格子状断面が、前記アルミニウム複合材を押出成形してなる管材を結束して形成したことを特徴とする請求項5に記載のキャスク。

【請求項8】 前記管材の結束がロウ付けによりなされることを特徴とする請求項7に記載のキャスク。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、使用済み核燃料を輸送または貯蔵する際に容器として使用されるキャスクに係り、特に、中性子吸収能に優れた材料で製造された使用済み核燃料集合体を収容するバスケット、及びそのバスケットを備えたキャスクに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 原子炉で所定の燃焼を終えた核燃料集合体、いわゆる使用済み核燃料集合体は、原子力発電所の冷却ピットで所定期間冷却された後、輸送用の容器であるキャスクに収納されて貯蔵及び再処理設備へ運ばれ、そこで貯蔵される。使用済み核燃料集合体をキャスク内

に収容するには、バスケットと称する格子状断面を有する保持容器を使用し、その複数の収納空間であるセルに1体ずつ挿入し、輸送中の振動等に対し適切な保持力を確保している。

【0003】 上述した従来のバスケットは、図9に示すように、板状部材1に設けたスリット2に係合させて縦横交互に結合することで、使用済み核燃料集合体を挿入するための格子状断面を形成している。この板状部材1には、例えばJIS2219に規定されるAl-Cu系アルミニウム合金やJIS5083に規定されるAl-Mg系アルミニウム合金などのように、強度面に優れた特性を有している厚さ10mm程度アルミニウム合金を母材1aとして、表面に中性子吸収能を有するAl-B合金よりなる厚さ1mm程度の板材（中性子吸収材）を貼り付けたものが使用されている。このような貼り付け構造を採用するのは、中性子吸収材が加工性に乏しいため、構造部材として単独で使うことが困難なためである。なお、この板状部材1の幅は、一般的には300～350mm程度のものが使用されている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上述した従来のバスケットは、アルミニウム合金の母材1aに中性子吸収材3が貼り付けられた板状部材1を使用しているため、素材を製造するのに多大の手間とコストが必要であった。ちなみに、中性子吸収材3の母材への貼り付けは、スポット溶接、ビス止め、又はリベット止めによってなされ、通常1台のキャスクに収納されるバスケットを製造するためには数千枚の板状部材1が必要となる。また、従来の板状部材1には、母材1aとこれに貼り付けられた中性子吸収材3との間に段差が生じることがあり、従って、使用済み核燃料集合体を出し入れする際に引っかかるという問題がある。さらに、スポット溶接による貼り付けをした場合、長期間の使用により劣化して中性子吸収材3が剥がれてしまうという問題もある。

【0005】 本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、構造部材として中性子吸収能に優れた材料を使用し低コストで製造できるバスケット、及びこのようなバスケットを備えたキャスクを提供するものである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明は、上記課題を解決するため、以下の手段を採用した。請求項1に記載のバスケットは、個々の使用済み核燃料集合体をキャスク内部の所定位置に収納するための格子状断面を有するバスケットであって、AlまたはAl合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上7重量%以下添加後、加圧焼結してなる中性子吸収能を備えたアルミニウム複合材で製造したことを特徴とするものである。この場合、バスケットの格子状断面は、アルミニウム複合材よりなる板材を格子状に結合したものでもよいし、あるいは、アルミニウム複合

材を押出成形してなる管材を結束して形成したものでもよい。この結束方法としては、ロウ付けが好ましい。

【0007】このようなバスケットによれば、アルミニウム複合材自体が高い中性子吸収能を備え、しかも加工性にも優れているので、この複合材を構造部材として使用しバスケット全体を製造することができる。

【0008】請求項5に記載のキャスクは、個々の使用済み核燃料集合体をキャスク内部の所定位置に収納するための格子状断面を有し、A1またはA1合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上7重量%以下添加後加圧焼結してなる中性子吸収能を備えたアルミニウム複合材で製造したバスケットと、耐圧を受け持つ胴本体とその外側を取り巻く中性子遮蔽部とを備え、前記バスケットを内部に収納する中空のキャスク本体と、前記使用済み核燃料集合体を前記バスケットに出入れするために設けられた前記キャスク本体の開口部に着脱可能な蓋とを具備して構成したことを特徴とするものである。この場合、バスケットの格子状断面は、アルミニウム複合材よりなる板材を格子状に結合したものでもよいし、あるいは、アルミニウム複合材を押出成形してなる管材を結束して形成したものでもよい。この結束方法としては、ロウ付けが好ましい。

【0009】このようなキャスクによれば、中性子吸収能に優れ、しかも安価に製造できるバスケットを備えたので、キャスク自体の中性子遮蔽機能が増すと共に、安価に製造できるようになる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係るバスケット及びキャスクの一実施形態を、図面に基づいて説明する。図1はキャスクの構成を示す部分断面斜視図であり、図中の符号の10はキャスク、20はバスケット、30はキャスク本体、40は蓋である。図示のキャスク10は、全体がほぼ円筒形状の収納容器であり、使用済み核燃料集合体（以後、核燃料集合体と呼ぶ）5をキャスク内部の所定位置に収納するためのバスケット20と、耐圧を受け持つ胴本体31及びその外側を取り巻く中性子遮蔽部32とを備えたキャスク本体30と、同キャスク本体30の開口部33に着脱可能な蓋40とを主な構成要素としている。キャスク本体30は中空円筒形状の容器で、内部にバスケット20が設置され、核燃料集合体5をバスケット20に出入れするための開口部33が一方の端面に設けられている。

【0011】バスケット20は、細長い棒状の使用済み核燃料集合体5を多数キャスク内部に収納できるようにした構造体で、キャスク本体30の軸方向に長くかつ格子状断面を有するものであり、各格子状断面により形成される収納空間がセル21と呼ばれ、それぞれ1本の核燃料集合体5を収納することができる。バスケット20は、キャスク本体30の開口部33に格子状の一端が面

しており、蓋40を取り外した状態で、各セル21に核燃料集合体5を収納したり、あるいは取り出したりできるようになっている。このバスケット20は、後述するアルミニウム複合材により製造されたものである。

【0012】ここで、バスケット20の構造に係る第1実施例を図2に示して説明する。この実施例では、バスケット20の構成部材として板状部材22を使用し、井桁状に結合して格子状断面を形成している。各板状部材22の長辺にはそれぞれ結合用のスリット23が設けられ、隣接する板状部材間で互いのスリット23どうしに係合させて結合する構造となっている。この場合の板状部材22は、全体が同一組成よりなるアルミニウム複合材の押出成形品であり、従って、バスケット20全体が中性子吸収能を備えたものとなる。

【0013】続いて、バスケット20の構造に係る第2実施例を図3に示して説明する。この実施例では、後述するアルミニウム複合材を押出成形してなるほぼ矩形断面の管材24を使用し、互いの外面どうしを接触させて多数結束した構造にしてある。各管材の結束方法としては、溶接、ロウ付け、連結部材を介してビスやリベットで固定するなど、公知の方法から適宜選択すればよい。この場合も、バスケット20のほぼ全体が中性子吸収能を備えたものとなる。なお、結束方法としてロウ付けを採用すると、歪みが軽減されるという利点がある。

【0014】キャスク本体30は、炭素鋼またはステンレス鋼などよりなる耐圧を受け持つ胴本体31を内筒として、例えば樹脂などの中性子遮蔽材よりなる中性子遮蔽部32がその外周を取り巻いた構造となっている。胴本体31はまた、γ線遮蔽体としての機能も備えている。また、開口部33を閉鎖する蓋40は、キャスク本体30にボルトを用いてフランジ結合させる構造となっており、公知技術により充分なシール性を確保するようにしてある。なお、図中の符号11は、キャスク10を吊り上げて移動させる際にフックをかけるトラニオンである。

【0015】さて、上述したバスケット20の構造部材として使用するアルミニウム複合材は、A1またはA1合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末をB量として1.5重量%以上7重量%以下添加後加圧焼結したもので、高い中性子吸収能を有すると共に、構造部材としても良好な加工性を備えたものである。このアルミニウム複合材は、特にキャスク用バスケットなどの構造用材料として新たに開発されたものであり、Bの含有量を増すことで中性子吸収能が向上していると共に、引張特性などの機械的性質や加工性の面でも優れている。

【0016】以下、アルミニウム複合材の製造方法を説明する。このアルミニウム複合材の製造方法では、アトマイズ法などの急冷凝固法で作成したA1またはA1合金粉末と、中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉

末とを混合して、加圧焼結するものである。ここで添加するB量は、1.5重量%以上7重量%以下であるが、好適には2重量%以上5重量%以下である。

【0017】ベースとして使用できるAlまたはAl合金粉末は、純アルミニウム地金(JIS 1xxx系)、Al-Cu系アルミニウム合金(JIS 2xxx系)、Al-Mg系アルミニウム合金(JIS 5xxx系)、Al-Mg-Si系アルミニウム合金(JIS 6xxx系)、Al-Zn-Mg系アルミニウム合金(JIS 7xxx系)、Al-Fe系アルミニウム合金(Fe含有率が3~10%)の他にも、例えばAl-Mn系アルミニウム合金(JIS 3xxx系)などがあり、特に限定されるものではない。これらのAlまたはAl合金としては、均一で微細な組織を持つ急冷凝固粉を使用する。この急冷凝固粉を得るための急冷凝固法としては、単ロール法、双ロール法、エアアトマイズやガスアトマイズなどのアトマイズ法といった周知技術を採用できる。このような急冷凝固法によって得られたAl合金粉末は、好適には平均粒径が $5\mu\text{m}$ ~ $300\mu\text{m}$ の粉末を使用する。その理由は、 $5\mu\text{m}$ 未満では微粉のため各粒子が凝集をするので、結局大きな粒子の塊になることとアトマイズ法による製造の限界のためであり、 $300\mu\text{m}$ を超えると急冷凝固でなくなるなどのアトマイズ法による製造の限界のためである。最も望ましい平均粒径は $100\sim 300\mu\text{m}$ である。急冷凝固の急冷速度は、 $3\times 10^3\text{ }^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以上、望ましくは $10^4\text{ }^\circ\text{C}/\text{sec}$ 以上である。

【0018】一方、上記AlまたはAl合金粉末と混合するBまたはB化合物は、特に高速中性子の吸収能が大きいという特徴を有している。なお、本発明で使用可能な好適なB化合物としては、 $\text{B}_4\text{C}$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ などがある。このようなBまたはB化合物の添加量は、B量としての重量%で1.5以上9以下とする。この理由は、B量が1.5重量%より少ないと十分な中性子吸収能が得られず、B量が7重量%より多くなると引張りに対する伸びが低下して加工性に問題が生じるためである。また、BまたはB化合物の粉末は、好適には平均粒径が $1\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ の範囲にあるものを使用する。その理由は、 $1\mu\text{m}$ 未満では微粉のため各粒子が凝集するので、結局大きな粒子の塊になることと歩留まりが極端に悪くなるためであり、 $100\mu\text{m}$ を超えると均一分散が困難になるためである。

【0019】上述したAlまたはAl合金粉末とBまたはB化合物の粉末とを混合した後は、加圧焼結を施してAl合金複合材を製造する。加圧焼結の製造法としては、熱間押出、熱間圧延、熱間静水圧プレス(HIP)又はホットプレスの何れかまたは2種以上の組合せを採用してもよい。なお、加圧焼結時における好適な加熱温度は $350^\circ\text{C}$ ~ $550^\circ\text{C}$ 、時間は5~10分である。

【0020】加圧焼結後には、必要に応じて熱処理を実

施する。例えばAl-Mg-Si系のAl合金粉末をベースとして使用した場合にはJISのT6処理を、Al-Cu系のAl合金粉末をベースとして使用した場合も同様にT6処理を施すが、純AlやAl-Fe系Al合金などの粉末をベースとして使用した場合には熱処理は不要であり、この場合はJISのT1処理に該当する。

【0021】このような製造方法により、AlまたはAl合金母相中に、中性子吸収能を有するBまたはB化合物をB量として1.5重量%以上7重量%以下含有し、加圧焼結されたアルミニウム複合材を得ることができる。なお、BまたはB化合物は高速中性子吸収能に優れていることが知られているが、必要に応じて低速中性子吸収能に優れたCdまたはCd化合物を適宜添加して含有させた複合材を使用してもよい。

【0022】

【実施例】以下に、具体的な実験例を示して詳細に説明する。この実験では、粉末冶金法によりAl-B<sub>4</sub>C粒子複合材を製造し、その機械的性質を調べた。

<使用材料>

(1) ベースとなるアルミニウムまたはアルミニウム合金粉末として、下記の4種類を使用した。

ベース①：純度99.7%の純Al地金を使用し、エア・アトマイズ法により粒径 $250\mu\text{m}$ 以下の粉末を得た。以後、「純Al」と呼ぶ。

ベース②：標準組成(重量%)がAl-0.6Si-0.25Cu-1.0Mg-0.25Cr(JIS 6061)のAl合金を使用し、N<sub>2</sub>ガス・アトマイズ法により粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の粉末を得た。以後、「6061Al(Al-Mg-Si系)」と呼ぶ。

ベース③：標準組成(重量%)がAl-6.3Cu-0.3Mn-0.06Ti-0.1V-0.18Zr(JIS 2219)のAl合金を使用し、N<sub>2</sub>ガス・アトマイズ法により粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の粉末を得た。以後、「2219Al(Al-Cu系)」と呼ぶ。

ベース④：標準組成(重量%)がAl-6FeのAl-Fe系Al合金を使用し、N<sub>2</sub>ガス・アトマイズ法により粒径 $150\mu\text{m}$ 以下の粉末を得た。以後、「Fe系Al」と呼ぶ。

【0023】(2) 添加粒子として、市販されているB<sub>4</sub>Cを使用した。表1にその仕様の抜粋を示す。

【0024】

【表1】

## 添加粒子仕様(抜粋)

B(重量%)	76
C(重量%)	22
Fe(重量%)	0.1
平均粒径( $\mu\text{m}$ )	23
累積90%粒径( $\mu\text{m}$ )	44.93
累積95%粒径( $\mu\text{m}$ )	<60

## 【0025】&lt;試料作成&gt;

## (1) ピレット製作

第1段階として、クロスロータリーミキサーを使用して、上記ベースの粉末及び添加粒子を10～15分混合した。なお、この実験では8種類の試料を作成したが、ベース(①～④)と添加粒子(Bの重量%を計算した値で表示)との組合せは、表2に示す通りである。

## 【0026】

## 【表2】

試料No.	混合粉末		熱処理
	ベース	B添加量 (重量%)	
A	純Al	0	なし(T1)
B	純Al	2.3	なし(T1)
C	純Al	4.7	なし(T1)
D	6061Al	2.3	有り(T6)
E	2219Al	2.3	有り(T6)
F	Fe系Al	0	なし(T1)
G	Fe系Al	2.3	なし(T1)
H	Fe系Al	4.7	なし(T1)

【0027】第2段階として、ベース粉末及び添加粒子の混合物を缶へ封入してキャニングを実施した。ここで使用した缶の仕様は、下記の通りである。

材質：JIS 6063 (アルミニウム合金継目無管)

直径：90mm

長さ：300mm

缶厚：2mm

【0028】第3段階として、真空加熱脱ガスを実施した。この工程では、キャニングされた粉末混合物を300℃まで昇温して、缶内部を真空吸引した。この脱ガス工程を実施したことで缶内のガス成分及び水分が除去され、押出用素材(以下、ピレットと呼ぶ)の製作が完了する。

## 【0029】(2) 押出

この工程では、上記手順で製作されたピレットを500tonの押出機を使用して熱間で押出す。この場合の温度は430℃であり、断面積の押出比を約12として下記に示す板状の押出形状に成形した。また、この押出成形における押出時間は430秒であった。

【押出形状(断面)】 幅：48mm

厚さ：12mm

## 【0030】(3) 熱処理(T6処理)

この実験では、押出成形後、表2に示した試料D及び試料Eについてのみ熱処理を実施した。試料Dの熱処理では、530℃で2時間の固溶化熱処理をした後水冷し、さらに175℃で8時間の時効処理をしてから空冷した。また、試料Eの熱処理は、530℃で2時間の固溶化熱処理をした後水冷し、さらに190℃で26時間の時効処理をしてから空冷した。この熱処理を経て、試料の製作は終了する。なお、他の試料については、熱間での押出加工から冷却後自然時効させるT1処理を施した。

【0031】<評価>上述した各工程を経て製作された試料A～Hについて、下記に示す要領で評価を行った。なお、試料D、Eについては、上述した熱処理を施したT6材を用いて評価を行い、他の試料(A～C、F～H)については、熱処理なしのT1材を用いて評価を行った。

## (1) ミクロ組織観察

全試料A～Hについて、L、T両断面で実施した。この結果、何れの試料についてもアルミニウム合金マトリックス中にB<sub>4</sub>C粒子が均一に微細分散した組織になっていることが確認できた。

## (2) 引張試験

この引張試験は、常温及び250℃の二つの条件で実施した。常温での引張試験は、全試料A～Hについて各々試験片の数nを2(n=2)として実施し2本の平均値とし、また、250℃での引張試験は、試料A及びCを除く6種類の試料について各々n=2として実施し2本の平均値とした。なお、何れの引張試験においても、直径6mmの丸棒試験片を使用して試験を行ったが、250℃の引張試験の場合は、この試験片を250℃で100時間保持した後、試験を実施した。この試験結果を表3に示す。

## 【0032】

## 【表3】

温度	試料No.	熱処理	0.2% 耐力 (MPa)	引張 強さ (MPa)	破断 伸び (%)
室温	A	T1	56	105	40
	B	T1	62	112	39
	C	T1	64	114	33
	D	T6	278	307	49
	E	T6	291	426	27
	F	T1	165	262	60
	G	T1	175	271	21
	H	T1	184	270	18
250℃ (100時間保持後)	B	T1	32	48	36
	D	T6	74	98	23
	E	T6	134	185	13
	F	T1	96	143	23
	G	T1	107	149	20
	H	T1	107	153	12

【0033】表3の実験結果を見ると、0.2%耐力については、室温では56MPa（試料A）～291MPa（試料E）の範囲にあり、250℃の高温では32MPa（試料B）～134MPa（試料E）の範囲にある。また、引張強さについては、室温では105MPa（試料A）～426MPa（試料E）の範囲にあり、250℃の高温では48MPa（試料B）～185MPa（試料E）の範囲にあって、室温時はもとより高温時においても、ボラル（Boral）の室温での引張強さ41MPa（表4参照）より優れていることがわかる。なお、ボラルは、Al母材に30～40重量%のB<sub>4</sub>Cを配合した粉末をサンドイッチにして圧延した中性子遮蔽材である。

【0034】続いて、破断伸びについて見ると、室温では18%（試料H）～60%（試料D）の範囲にあり、250℃の高温では13%（試料E）～36%（試料B）の範囲にあって、何れの温度条件においてもボラルの室温での伸び1.2%（表4参照）より優れた結果を示している。

【0035】図4及び図5は、引張特性に対する温度の影響を示したグラフであり、両グラフ共、表3に示した試験結果から試料D、E、Gの数値をプロットしたものである。このグラフを見ると、試料Eが0.2%耐力及び引張強さに共に最も高い値を示しているが、傾斜が比較的大きいことから温度上昇による影響を受けやすいことがわかる。また、試料Gは、0.2%耐力及び引張強さに共に室温では3試料中で最も低い値となっているが、温度上昇に伴う傾斜は最も小さい。このため、250℃の高温では試料Gと逆転しており、すなわち、3試料中では温度の影響が最も小さいことを示している。なお、試料Gは、特に0.2%耐力の傾斜が大きくなっており、温度上昇の影響を受けやすいことを示している。

【0036】続いて、図6～図8のグラフには、B添加量（重量%）が引張性質に及ぼす影響が示されている。図6は、純Alベースの試料A～Cについて、温度条件を室温として、0.2%耐力（MPa）、引張強さ（M

Pa）、及び破断伸び（%）の値（表3参照）をそれぞれプロットして示したものである。このグラフを見ると、B添加量が増加するにつれて、破線で示した0.2%耐力（MPa）及び実線で示した引張強さ（MPa）が大きくなり、反対に、細破線で示した破断伸び（%）は小さくなることわかる。

【0037】図7は、Fe系Al（Al-6Fe）ベースの試料F～Hについて、温度条件を室温として、0.2%耐力（MPa）、引張強さ（MPa）、及び破断伸び（%）の値（表3参照）をそれぞれプロットして示したものである。このグラフを見ると、B添加量が増加するにつれて、破線で示した0.2%耐力（MPa）及び実線で示した引張強さ（MPa）が図6と同様に大きくなっている。しかし、細破線で示した破断伸び（%）については、Bを2.3重量%添加することにより無添加時と比較して急激に低下するものの、2.3重量%から4.7重量%までB量を増加させてもその低下量は小さいものであることがわかる。

【0038】図8は、図7と同様のFe系Al（Al-6Fe）ベースの試料F～Hについて、温度条件を250℃の高温として、0.2%耐力（MPa）、引張強さ（MPa）、及び破断伸び（%）の値（表3参照）をそれぞれプロットして示したものである。このグラフを見ると、B添加量が増加するにつれて、破線で示した0.2%耐力（MPa）及び実線で示した引張強さ（MPa）が図6及び図7と同様に大きくなっている。また、細破線で示した破断伸び（%）については、Bを2.3重量%添加することにより無添加時と比較して急激に低下する図7の現象が解消され、全体としての数値は低いものの、図6に示したものと同様にB量の増加につれて緩やかに低下する傾向を示している。

【0039】上述した表3の試験結果のうち、試料B～Gの6種類について、そのB量（重量%）、引張強さ（MPa）、及び伸び（%）を下記の表4に抜粋して示し、溶解法による従来品の各値と比較する。なお、表4に示す引張強さ及び伸びは室温での値である。

20

30

40

50

【0040】

【表4】

	材質	B量 (重量%)	引張強さ (MPa)	伸び (%)
本 発 明 品	純Al複合材(No. B)	2.3	112	39
	純Al複合材(No. C)	4.7	114	33
	Al-Mg-Si系複合材(No. D)	2.3	307	49
	Al-Cu系複合材(No. E)	2.3	429	27
	Al-Fe系複合材(No. F)	2.3	271	21
	Al-Fe系複合材(No. G)	4.7	270	18
従 来 品	Al-Mg系合金	0.9	245	20
	Al-Mg-Si系合金	0.9	270	12
	Al-Zn-Mg系合金	0.9	500	11
	Al-Cu系合金	0.9	370	15
	Al-Mn系合金	0.9	150	11
	ボラール	27.3	41	1.2

【0041】最初にB添加量について比較すると、上記製造方法により製造したアルミニウム複合材では2.3または4.7重量%の添加がなされており、0.9重量%の各Al合金よりB添加量大きい分だけ高い中性子吸収能を有する材料であることがわかる。また、ボラールのB添加量は27.3重量%と非常に高い値になっているが、後述する引張強さ及び伸びの値が極めて低いものであるため、加工性に乏しいことがわかる。

【0042】次に、引張強さを比較すると、アルミニウム複合材ではB量2.3重量%の純Al複合材(試料B)が最も低い112MPaとなっており、従来品ではAl-Mn系合金の150MPaが最も低い値になっている。しかし、この試料Bは、従来品と比較してB添加量が高いため中性子吸収能に優れており、また、伸びも従来品で最大の20%より大幅に高い値を示している。加工性の面でも実用に耐えうるものである。特に、ボラールと比較した場合には、引張強さや伸びの特性が極めて高いため、加工性の面で優れていることがわかる。なお、ベースをAl合金と限定した場合、引張強さが最低値となるのは、B量4.7重量%のAl-Fe系複合材(試料G)であり、その値は270MPaとなる。

【0043】また、アルミニウム複合材で最も引張強さに優れているのはB量2.3重量%のAl-Cu系複合材(試料E)であり、その値は429MPaとなっている。これに対して、従来品で最も引張強さに優れているのはAl-Zn-Mg系合金の500MPaであるが、この場合の伸びは11%と本発明品の最低値である18%よりかなり低い。この傾向、すなわち引張強さのわりには伸びが低い(11~20%)という傾向は従来品であるB添加アルミニウム合金に共通しており、全体的にアルミニウム複合材の伸び(18~49%)と比較して低いものとなっている。

【0044】こんどは、表4に基づき、同系のアルミニウム複合材とアルミニウム合金(従来品)とを比較してみる。最初に、Al-Mg-Si系複合材(試料D)とAl-Mg-Si系合金とを比較すると、B量、引張強

さ及び伸びの何れの面でも複合材が優れた値を示している。すなわち、B量は2.3重量%に対し0.9重量%、引張強さは307MPaに対し270MPa、そして、伸びは49%に対し12%となっており、何れの値も複合材が高くなっている。

【0045】続いて、Al-Cu系複合材(試料E)とAl-Cu系合金とを比較すると、この場合においてもB量、引張強さ及び伸びの何れの面でも複合材が優れた値を示している。すなわち、B量は2.3重量%に対し0.9重量%、引張強さは429MPaに対し370MPa、そして、伸びは27%に対し15%となっており、何れの値も複合材が高くなっている。

【0046】特に、使用済み核燃料の輸送容器や貯蔵容器等の構造部材として用いることを考えると、220℃において引張強さ135MPa、伸び10%以上という機械的特性を有することが望ましいが、250℃の試験結果から、ベースとして純Al粉末以外のアルミニウム合金粉末を使用することで、ほぼ達成可能であることを確認できた。なお、Al-Mg-Si系複合材(試料D)の場合、250℃の引張強さは98MPaであるが、220℃における引張強さはおよそ125MPa程度と推測され、135MPaにかなり近い値である。

【0047】このように、上述したアルミニウム複合材は、高いB量を添加できるため中性子吸収能に優れ、しかも、引張強さや伸びなどの引張特性にも優れているため高い加工性を得ることができる。従って、このようなアルミニウム複合材を構造部材として使用することが可能となり、加圧焼結が完了した後必要に応じて熱処理を施してから、所望形状の構造部材を得るため押出成形を実施して、例えば上述した板状部材22または管状部材24を得る。そして、このような板状部材22または管状部材24によってバスケット20を製造すれば、従来例で説明した中性子吸収材を母材に貼り付けるといった作業が不要になるので、大幅に作業工数を低減できる。また、バスケット20が同一組成の部材により製造されているので、構造部材に起因してセル21内に段差が生じたり、あるいは、中性子吸収部材が剥離するといった



問題の発生は解消される。

#### 【0048】

【発明の効果】 上述した本発明のバスケット及びキャスクによれば、以下の効果を奏する。

(1) アルミニウムまたはアルミニウム合金粉末に中性子吸収能を有するBまたはB化合物の粉末を添加して混合した後加圧焼結するという粉末冶金法を用いて製造したアルミニウム複合材は、従来の溶解法に比べて多量(1.5~7重量%)のBまたはB化合物を添加することが可能であるため、優れた中性子吸収能を有する材料となる。しかも、引張特性の面でも優れた特性を有しているので、圧延等の加工ができ、バスケットなどの構造部材として使用することも可能になる。従って、このアルミニウム複合材を用いて製造したバスケットは、バスケット自体が高い中性子吸収能を有し、また、製造に要する工数も低減されるのでコスト的にも安価になる。

(2) 中性子吸収能が向上し、しかもコスト的にも安価に製造できるバスケットを備えたことにより、キャスクの性能や信頼性が向上し、しかも安価に製造できるという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

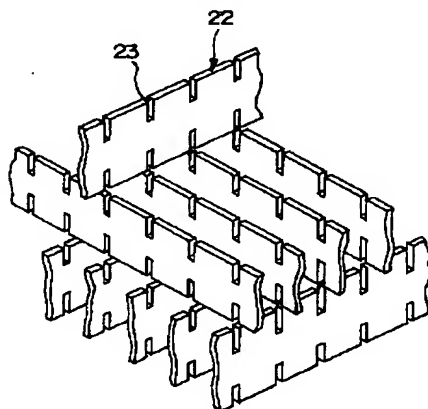
【図1】 本発明に係るキャスクの構造を示す部分断面斜視図である。

【図2】 本発明に係るバスケットの構造を示す第1実施例の部分組立斜視図である。

【図3】 本発明に係るバスケットの構造を示す第2実施例の部分組立斜視図である。

【図4】 本発明による中性子吸収能を備えたA1複合材の機械的性質に関するグラフで、表2の試料D、E、Gについて、0.2%耐力(MPa)と温度(℃)との

【図2】



22; 板状部材  
23; スリット

【図5】 本発明による中性子吸収能を備えたA1複合材の機械的性質に関するグラフで、表2の試料D、E、Gについて、引張強さ(MPa)と温度(℃)との関係を示している。

【図6】 本発明による中性子吸収能を備えたA1複合材の機械的性質に関するグラフで、純A1ベース(表2の試料A、B、C)の複合材について、室温におけるB添加量の影響を示している。

【図7】 本発明による中性子吸収能を備えたA1複合材の機械的性質に関するグラフで、A1-6Feベース(表2の試料F、G、H)の複合材について、室温におけるB添加量の影響を示している。

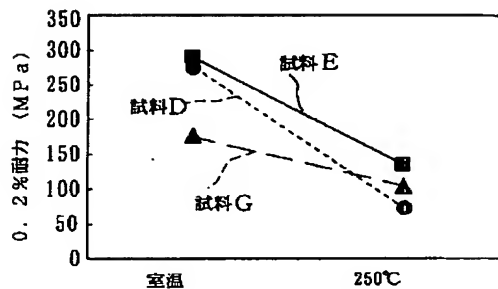
【図8】 本発明による中性子吸収能を備えたA1複合材の機械的性質に関するグラフで、A1-6Feベース(表2の試料F、G、H)の複合材について、250℃におけるB添加量の影響を示している。

【図9】 従来のバスケット構造を示す部分組立斜視図である。

#### 【符号の説明】

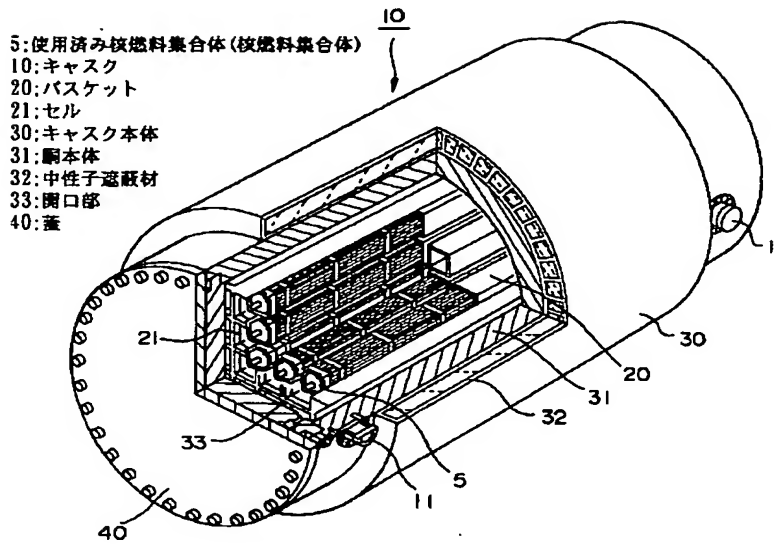
- 5 使用済み核燃料集合体(核燃料集合体)
- 10 キャスク
- 20 バスケット
- 21 セル
- 22 板状部材
- 23 スリット
- 24 管材
- 30 キャスク本体
- 31 胴本体
- 32 中性子遮蔽材
- 33 開口部
- 40 蓋

【図4】

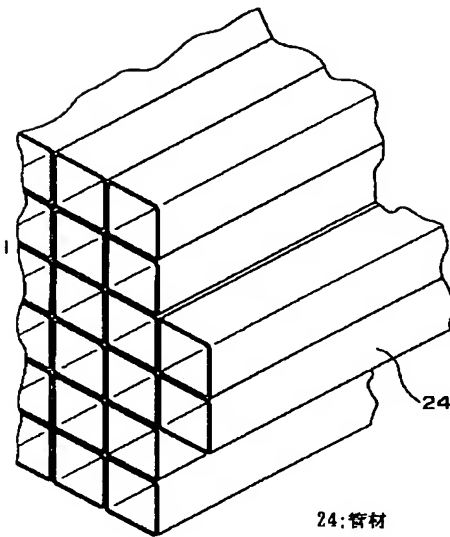




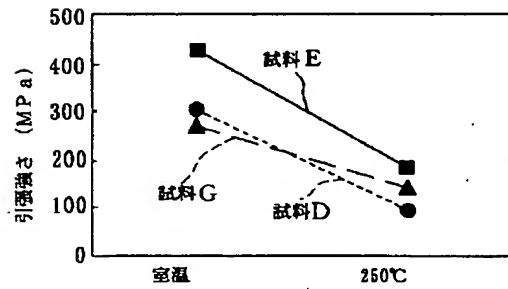
【図1】



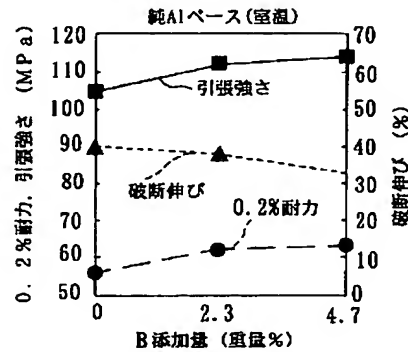
【図3】



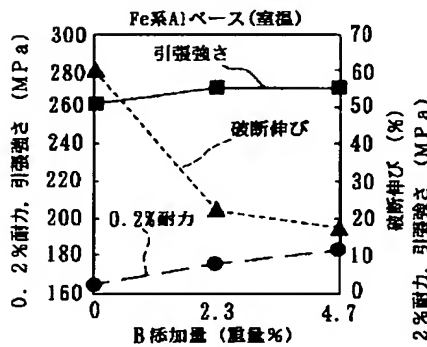
【図5】



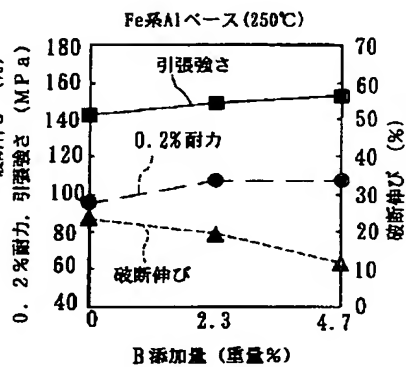
【図6】



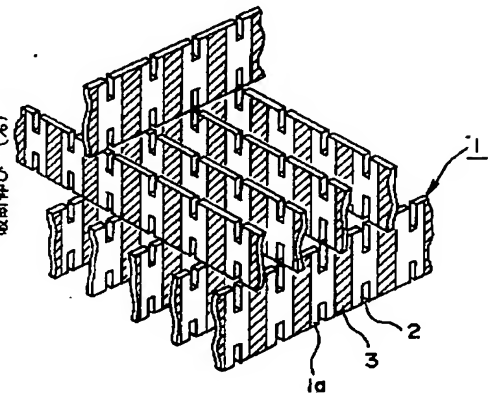
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 坂口 康弘

兵庫県高砂市荒井町新浜２丁目１番１号  
三菱重工業株式会社高砂研究所内

(72)発明者 松岡 寿浩

兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目１番１  
号 三菱重工業株式会社神戸造船所内